

Warum Wasserstoff-Autos und Wasserstoff-Heizungen unwirtschaftlich sind

Pascal Zehmer, Klimaschutzmanager der Verbandsgemeinde Wöllstein, März 2024

Einleitung

Im Rahmen der Transformation des Verkehrssektors und des Heizsektors hin zur Klimaneutralität kommt die Frage auf, ob dieser Wandel durch die Elektrifizierung (E-Auto und Wärmepumpe) oder durch die Markteinführung von Wasserstoff in die genannten Sektoren zu erreichen ist. Die Abwägung zwischen Elektrifizierung und Wasserstoff ist dabei gar nicht kompliziert: Sie richtet sich in erster Linie nach der Frage, welche der Technologien im Betrieb effizienter ist. Denn beide Technologien verwenden in einem klimaneutralen Szenario den gleichen Ausgangsstoff: Erneuerbaren Strom aus Photovoltaik und Windkraft. Es ist also lediglich die Frage zu stellen: Welche Technologie bringt mehr kinetische Energie auf die Straße und welche Energie bringt mehr Wärme in die zu beheizenden Häuser?

Die Betriebskosten werden eine direkte Folge der Effizienz sein. Bei doppelter Effizienz sind die Betriebskosten halb so hoch.

Wollen wir die Sinnhaftigkeit eines Wasserstoff-Autos bewerten, müssen wir also lediglich den Wirkungsgrad berechnen, und ihn mit dem Wirkungsgrad des Elektro-Autos vergleichen. Wollen wir die Sinnhaftigkeit einer Wasserstoff-Heizung bewerten, müssen wir lediglich deren Wirkungsgrad berechnen, und ihn mit dem Wirkungsgrad einer Wärmepumpe vergleichen.

Gleich vorneweg: Die Antwort auf die Frage findet sich bereits im Vorwort des Thesenpapiers zum Thema Wasserstoff von Agora Energiewende:

„Wasserstoff ist ein entscheidender Baustein auf dem Weg zur Klimaneutralität, allerdings hat die Elektrifizierung Vorrang, wo immer es möglich ist: Darüber besteht breite Einigkeit.“ [1]

Kapitel 1: Das Wasserstoff-Auto

Schauen wir uns zunächst den Wirkungsgrad des Wasserstoff-Autos an:

Nachdem der Erneuerbare Strom mittels Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt wurde, bleiben 70% der Energie übrig. Um den Wasserstoff jedoch im Wasserstoff-Auto speichern zu können, muss er noch komprimiert und verflüssigt werden. Danach bleiben noch 62% der ursprünglichen Energie übrig. Auch der Transport und die Befüllung wirken sich negativ auf die Effizienz aus. Nachdem der Wasserstoff im Tank des Wasserstoff-Autos angekommen ist, bleiben 49% der ursprünglich eingesetzten Energie übrig. Nun muss der Wasserstoff mittels Brennstoffzelle zurück in Strom umgewandelt werden, denn auch das muss dazu gesagt werden: Auch ein Wasserstoff-Auto ist ein Elektroauto, nur mit einer indirekten Speicherung (Wasserstoff und kleine Batterie, statt großer Batterie). Nun bleiben 32% der ursprünglichen Energie übrig. Man spricht hier von einem Well-To-Tank-Wirkungsgrad von 32%. „Well-To-Tank“ bedeutet: Der Wirkungsgrad von der Stromproduktion bis zur direkt abrufbaren Energie, die im Auto gespeichert wird, unmittelbar bevor sie im Motor in kinetische Energie (Fortbewegungsenergie) umgewandelt wird. Nach der Umwandlung im E-Motor kommen 30% der eingesetzten Energie auf die Straße. Dieser Gesamtwirkungsgrad von 30% wird auch als „Well-To-Wheel“ Wirkungsgrad bezeichnet, also der Wirkungsgrad von der Stromproduktion bis zum Antrieb des Rades auf der Straße. [2]

Ermitteln wir nun den Wirkungsgrad des Elektro-Autos:

Hier wird der elektrische Strom direkt über Stromleitungen zum Auto transportiert und in der Batterie gespeichert. Nach Abzug von Blindenergie, Umwandlungsverlusten und Wärmeentwicklung an der Batterie bleiben 80% der ursprünglich eingesetzten Energie übrig. Der Well-To-Tank-Wirkungsgrad liegt also bei 80%. Nach dem Abruf der Energie aus der Batterie und der Umwandlung im Elektromotor gelangen 75% der ursprünglich erzeugten Energie auf die Straße. [2]

Setzen wir die Wirkungsgrade von Wasserstoffauto und Elektroauto nun ins Verhältnis zueinander, dann sehen wir, dass der **Wirkungsgrad des Elektroautos mit 75% 2,5-mal so hoch ist, wie der Wirkungsgrad des Wasserstoffautos mit 30%**. Und dies heißt im Endeffekt auch: Die Fahrtkosten beim Wasserstoffauto sind mindestens 2,5-mal so hoch, da dies durch die Energiekosten bedingt wird. Zusätzlich zu berücksichtigen sind die Kosten für die bisher nicht vorhandene Wasserstoff-Tankstellen-Infrastruktur, die die Betreiber mit Gewissheit auf die Verbraucher umlegen würden. Man kann insgesamt davon ausgehen, dass die Fahrtkosten bei einem Wasserstoffauto mindestens 3-mal so hoch wären, wie bei einem Elektroauto. Die Kosten beim Kauf würden ebenfalls deutlich höher ausfallen, da die Produktionskosten pro Stück bei Wasserstoffautos durch die geringere Marktdurchdringung und durch das Platin, das in der Brennstoffzelle vorhanden sein muss, mindestens um 50% über den Verkaufspreisen von Elektrofahrzeugen liegen würden. Das günstigste Wasserstoffauto ist ein Toyota Mirai, der rund 66 000 Euro kostet.

Fazit: Mit 50% höheren Beschaffungskosten und dreifachen Fahrtkosten wird sich ein Wasserstoff-Auto finanziell nie durchsetzen können. Diese Kostennachteile sind nicht temporär. Sie sind nicht durch technischen Fortschritt aus der Welt zu schaffen, da sie durch simple physikalische und chemische Prozesse vorgegeben sind. In Anbetracht der Tatsache, dass konventionelle Verbrenner und deren Tankstellennetz bereits vorhanden sind, würde es wirtschaftlich sogar mehr Sinn machen, bei konventionellen Verbrennern zu bleiben und diese mit E-Fuels zu betreiben. Dabei wären die Fahrtkosten allerdings 5-mal so hoch wie bei einem Elektroauto (da Gesamtwirkungsgrad 15%), sodass auch diese Option völlig unwirtschaftlich ist. Zusätzlich macht das Wasserstoff-Auto aus energiewirtschaftlicher und gesamtgesellschaftlicher Sicht überhaupt keinen Sinn: Man geht davon aus, dass in Zukunft rund 200 TWh an Energiebedarf für den Straßenverkehr in Deutschland existieren wird. Diese Annahme setzt eine vollständige Verbreitung der Elektromobilität voraus und würde etwa 10% des Gesamt-Energiebedarfs über alle Sektoren ausmachen. Würde man nun davon ausgehen, dass sich stattdessen die Wasserstoff-Mobilität durchsetzen würde, dann würde der dazu benötigte Energiebedarf als Folge des niedrigeren Wirkungsgrades bei 500 TWh liegen. Der Gesamtenergiebedarf Deutschlands würde in diesem Szenario von 2000 auf 2300 TWh steigen. Mit anderen Worten: Es müssten deutlich mehr Windkraftanlagen und Solaranlagen zugebaut werden. Deutschland hat jedoch eine begrenzte Fläche, mit der nicht verschwenderisch umgegangen werden sollte. Es müssen in allen Sektoren immer die effizientesten Technologien zum Einsatz kommen. Und genau deshalb hat die Wasserstoff-Mobilität keine Zukunft. Sie hat die besten Tage sogar bereits hinter sich, obwohl sie nie eine Rolle gespielt hat: In Dänemark wurden 2023 alle Wasserstoff-Tankstellen geschlossen, weil sie nicht wirtschaftlich zu betreiben waren. [3]

Kapitel 2: Die Wasserstoff-Heizung

Die Berechnung des Wirkungsgrades einer Wasserstoff-Heizung ist kurz und einfach: Nach der Elektrolyse bleiben 70% der Energie des eingesetzten Stroms erhalten. Im Gegensatz zum Auto muss der Wasserstoff hier nicht aufwändig verflüssigt werden, es soll schließlich das vorhandene Gasnetz verwendet werden. Ist der Wasserstoff im Haus angelangt, wird er in einer Brennwärtheimer verfeuert und es bleiben ca. 60% nutzbare Wärmeenergie übrig. Der Gesamtwirkungsgrad beläuft sich also auf ca. 60%.

Ermitteln wir nun den Wirkungsgrad einer Wärmepumpe:

Die Wärmepumpe hebt Umweltwärme auf ein höheres Temperaturniveau und macht sie dadurch nutzbar. Die Umweltwärme kann der Luft, dem Wasser oder der Erde entzogen werden. Je kälter es ist, desto weniger Wärme kann der Umwelt entzogen werden, was die Verwendung von Luft am ineffizientesten macht, da deren Temperatur im Winter am stärksten fällt. Die Energie, die der Umwelt entnommen wird, wird dazu verwendet, ein Kühlmittel zu verdampfen. Dies wird anschließend durch einen Kompressor geschickt. Das bedeutet: Das Kältemittel wird verdichtet, sodass Druck und Temperatur steigen. Nun wird der erhitzte, komprimierte Dampf am Heizungswasser vorbeigeführt, sodass die Wärme vom Kältemittel auf das Heizungswasser übertragen wird. Zum Schluss strömt das Kältemittel durch ein Entspannungsventil, sodass Temperatur und Druck auf den ursprünglichen Wert zurückfallen und der Kreislauf von vorne beginnen kann.

Bei diesem Vorgang werden in der Regel über das gesamte Jahr verteilt 2 bis 3 Teile Umweltwärme und 1 Teil elektrischer Strom (hauptsächlich zum Betrieb des Verdichters) eingesetzt. Dabei ist der benötigte elektrische Strom in erster Linie von der Vorlauftemperatur der Heizung und von der Temperatur der Umwelt (also der verfügbaren Umweltwärme) abhängig. Ist es besonders kalt, so muss der Verdichter mehr Arbeit leisten und der Wirkungsgrad sinkt. Sind die Heizkörper besonders klein, und die Vorlauftemperatur entsprechend besonders hoch, so muss der Verdichter ebenfalls mehr Arbeit leisten, sodass auch in diesem Fall der Wirkungsgrad sinkt. Insgesamt lässt sich jedoch festhalten, dass die Wärmepumpe 1 Teil elektrische Energie verwendet, um schlussendlich 3 bis 4 Teile Wärmeenergie im Haus zu liefern. Man spricht von einer Jahresarbeitszahl von 3 bis 4. Der Wirkungsgrad beträgt entsprechend zwischen 300 und 400%. Wir wollen mit einer Annahme von 360% weiterrechnen.

Setzen wir nun die Wirkungsgrade von Wasserstoff-Heizung und Wärmepumpe ins Verhältnis, dann stellen wir fest, dass der **Wärmepumpen-Wirkungsgrad mit 360% sechsmal so hoch ist, wie der Wirkungsgrad der Wasserstoff-Heizung mit 60%**. Heißt: **Mit Wasserstoff zu heizen, ist mindestens 6-mal so teuer, wie mit einer Wärmepumpe zu heizen**. Dabei sind die Kosten für die Instandhaltung des Gasnetzes noch nicht eingepreist. Es ist also völlig unwirtschaftlich, eine Gasheizung mit klimaneutralem Wasserstoff zu beheizen.

Wie sieht dann also die klimaneutrale Energieversorgung der Zukunft aus? In Einzelfällen können Holzpellet-Heizungen eingesetzt werden, beispielsweise dort, wo sich aus Gründen des Denkmalschutzes keine Wärmepumpen betreiben lassen, weil die Heizkörper nicht vergrößert oder die Außengeräte für Wärmepumpen nicht aufgestellt werden können. Die Holzpellet-Heizung ist jedoch keine Lösung für die breite Masse, da dazu Holzimporte notwendig wären. Bei diesen Holzimporten kann nicht ausgeschlossen werden, dass auf Primärholz zurückgegriffen wird, d. h.,

dass Wälder gerodet werden, um damit Häuser zu beheizen, was sowohl umwelt- als auch klimaschädlich ist. [4]

Die einzigen wirtschaftlichen Methoden zum klimaneutralen Heizen sind die Wärmepumpe und im urbanen Bereich die Fernwärme.

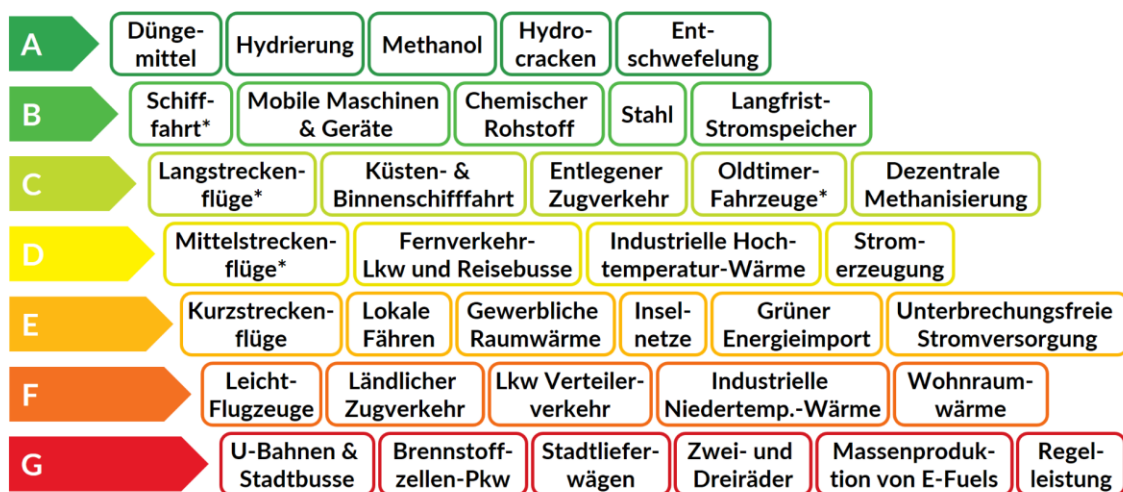
Kapitel 3: Die Verwendungszwecke des Wasserstoffs

Wenn der Wasserstoff nicht für die PKWs und nicht für das Heizen eingesetzt wird, wofür wird er dann benötigt? Die Antwort ist relativ einfach: Er wird überall dort vorrangig benötigt, wo eine Elektrisierung nicht stattfinden kann, weil der Wasserstoff bestimmte chemische und / oder physikalische Eigenschaften besitzt, die durch elektrische Energie bzw. Batteriespeicherung nicht geboten werden. **Wasserstoff wird beispielsweise benötigt für die Herstellung von Düngemittel und für die Katalyse von Methanol aus CO₂ und H₂. Auch in der Stahlindustrie und zur langfristigen Stromspeicherung wird Wasserstoff benötigt.** Da große Frachtschiffe sowie Flugzeuge auf Langstrecken nicht mit elektrischen Batteriespeichern angetrieben werden können, da diese eine zu niedrige volumetrische Energiedichte und ein zu hohes Gewicht aufweisen, wird es notwendig sein, E-Fuels aus H₂ herzustellen, um diese Sektoren klimaneutral machen zu können. Grüner Wasserstoff existiert aktuell nicht in nennenswerten Mengen. Aber selbst in Zukunft, wenn grüner Wasserstoff großflächig produziert wird, wird er ein vergleichsweise knappes Gut bleiben und hat aus diesem Grund unter Energiewirtschaftsexperten die Bezeichnung „Champagner der Energiewende“ erhalten. **Grünen Wasserstoff in Anwendungsgebieten zu „verschleudern“, die sich ohne weiteres elektrifizieren lassen würden, muss unbedingt verhindert werden.** Daher ist es wichtig, immer wieder darauf aufmerksam zu machen, dass der Wasserstoff in PKWs und Heizungen nichts zu suchen hat.

Einsatzbereiche sauberen Wasserstoffs

(Nach M. Liebreich, 2021)

Alternativlos



Unwirtschaftlich

* Sehr wahrscheinlich in Form von mittels Wasserstoff erzeugten E-Fuels oder Ammoniak.

© Gregor Hagedorn, Wolf-Peter Schill & Martin Kittel, based on Michael Liebreich/Liebreich Associates, Clean Hydrogen Ladder, Version 4.1, 2021. Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities, CC-BY 4.0

Abbildung 1 - Wasserstoff-Leiter

Quelle: Gregor Hagedorn, Wolf-Peter Schill & Martin Kittel, based on Michael Liebreich/Liebreich Associates, Clean Hydrogen Ladder, Version 4.1, 2021. Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities, CC-BY 4.0

Quellen

[1] Agora Energiewende, Agora Industrie (2022): 12 Thesen zu Wasserstoff

[2] Volkswagen AG (2019): Story Wasserstoff oder Batterie. Wasserstoff und E-Antrieb. Die Wirkungsgrade im Vergleich bei Nutzung von Öko-Strom

[3] SPIEGEL (2023): Dänemark. Wasserstoff-Tankstellen werden dauerhaft geschlossen. Alternativer Antrieb floppt.

[4] NABU (2023): Holzpellets: sauberes Image, zerstörerische Realität. blogs.nabu.de/holzpellet-industrie/